

PAT-NO: JP411194158A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 11194158 A
TITLE: AZIMUTH SENSOR
PUBN-DATE: July 21, 1999

INVENTOR- INFORMATION:

NAME	COUNTRY
NAITO, YUTAKA	N/A
BITO, TERUO	N/A
HATAUCHI, TAKASHI	N/A
MAKINO, TERUHIRO	N/A
OUCHI, JUNICHI	N/A
SASAGAWA, SHINICHI	N/A
INOUE, AKIHISA	N/A
MASUMOTO, TAKESHI	N/A

ASSIGNEE- INFORMATION:

NAME	COUNTRY
ALPS ELECTRIC CO LTD	N/A
INOUE AKIHISA	N/A
MASUMOTO TAKESHI	N/A

APPL-NO: JP10000499

APPL-DATE: January 5, 1998

INT-CL (IPC): G01R033/02, C22C038/00 , G01C017/30 , G01V003/40 , H01F021/08

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an azimuth sensor for measuring the azimuth of geomagnetic line of force precisely while reducing the size.

SOLUTION: An azimuth sensor comprises first and second magnetic impedance effect elements (hereinafter, referred to M1 element) 2, 3 for detecting the X and Y axis components of the magnetic line of force due to an external field,

and windings 5, 6 for applying bias magnetization to the MI elements 2, 3. The MI elements 2, 3 are arranged on a same plane 4 such that the AC current passages intersect perpendicularly. The MI elements 2, 3 are made of a soft magnetic alloy principally comprising a fine crystal phase having grain size of 50 nm or less and an amorphous phase containing one or more than one kind of element selected from Fe, Co and Ni, one or more than one kind of element selected from Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo and W, and B.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-194158

(43)公開日 平成11年(1999)7月21日

(51)Int.Cl.³

G 01 R 33/02

C 22 C 38/00

G 01 C 17/30

G 01 V 3/40

H 01 F 21/08

識別記号

3 0 3

F I

G 01 R 33/02

D

C 22 C 38/00

3 0 3 V

G 01 C 17/30

A

G 01 V 3/40

H 01 F 21/08

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 15 頁)

(21)出願番号

特願平10-499

(22)出願日

平成10年(1998)1月5日

(71)出願人 000010098

アルプス電気株式会社

東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(71)出願人 591112625

井上 明久

宮城県仙台市青葉区川内元支倉35番地 川
内住宅11-806

(71)出願人 391008456

増本 健

宮城県仙台市青葉区上杉3丁目8番22号

(74)代理人 弁理士 志賀 正武 (外11名)

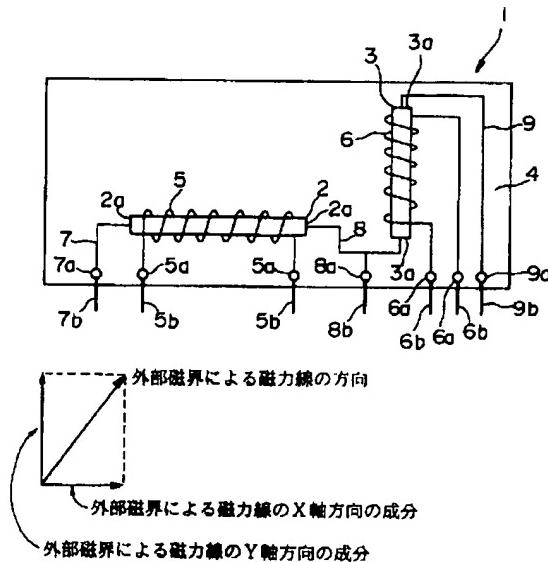
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 方位センサ

(57)【要約】

【課題】 形状を小型にすることが可能であり、かつ地磁気による磁力線の方位を精密に測定できる方位センサを提供する。

【解決手段】 外部磁界による磁力線のX軸およびY軸方向の成分を検出する第1、第2の磁気インピーダンス効果素子(以下M I 素子と略す)2、3と、M I 素子2、3にバイアス磁化を印加する巻線5、6とを備え、M I 素子2、3が、それぞれに印加される交流電流の電流路が直交するように同一平面4に配置され、M I 素子2、3が、粒径50 nm以下の微細な結晶粒からなる結晶相と非晶質相とを主体とし、Fe、Co、Niのうちの1種または2種以上の元素と、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素と、Bとを含む軟磁性合金であることを特徴とする方位センサ1を採用する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 外部磁界による磁力線の方位の検出手段として、Fe、Co、Niのうちの1種または2種以上の元素を含み、平均結晶粒径50nm以下の微細な結晶相と非晶質相とを主体し、交流電流を印加するときにインピーダンスが外部磁界に依存して変化する軟磁性合金からなる磁気インピーダンス効果素子を備えることを特徴とする方位センサ。

【請求項2】 請求項1に記載の磁気インピーダンス効果素子は、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素と、Bをさらに含む軟磁性合金であることを特徴とする方位センサ。

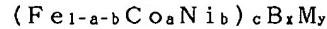
【請求項3】 請求項1または請求項2に記載の方位センサであって、

前記外部磁界による磁力線のX軸方向の成分の検出手段である第1の磁気インピーダンス効果素子と、前記外部磁界による磁力線のY軸方向の成分の検出手段である第2の磁気インピーダンス効果素子とを備えることを特徴とする方位センサ。

【請求項4】 請求項3に記載の方位センサであって、前記第1、2の磁気インピーダンス効果素子は、それぞれに印加される交流電流の電流路が互いに直交するように同一平面内に配置されたことを特徴とする方位センサ。

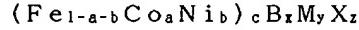
【請求項5】 請求項4に記載の方位センサであって、前記第1、2の磁気インピーダンス効果素子には、それぞれに印加される交流電流の電流路に沿ってバイアス磁化を印加するための巻線が巻回されたことを特徴とする方位センサ。

【請求項6】 請求項1または請求項2に記載の方位センサであって、前記軟磁性合金は、下記の組成で表されるものであることを特徴とする方位センサ。



但し、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素であり、組成比を示すa、b、c、x、yは、 $0 \leq a+b \leq 0.1$ 、 $75\text{原子\%} \leq c \leq 93\text{原子\%}$ 、 $0.5\text{原子\%} \leq x \leq 18\text{原子\%}$ 、 $4\text{原子\%} \leq y \leq 9\text{原子\%}$ である。

【請求項7】 請求項1または請求項2に記載の方位センサであって、前記軟磁性合金は、下記の組成で表されるものであることを特徴とする方位センサ。



但し、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素であり、XはSi、Al、Ge、Gaのうちの1種または2種以上の元素であり、組成比を示すa、b、c、x、y、zは、 $0 \leq a+b \leq 0.1$ 、 $75\text{原子\%} \leq c \leq 93\text{原子\%}$ 、 $0.5\text{原子\%} \leq x \leq 18\text{原子\%}$ 、 $4\text{原子\%} \leq y \leq 9\text{原子\%}$ 、 $z \leq 4\text{原子\%}$ である。

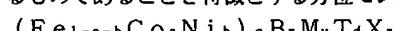
2

【請求項8】 請求項1または請求項2に記載の方位センサであって、前記軟磁性合金は、下記の組成で表されるものであることを特徴とする方位センサ。



但し、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素であり、Tは、Cu、Ag、Au、Pd、Ptのうちの1種または2種以上の元素であり、組成比を示すa、b、c、x、y、dは、 $0 \leq a+b \leq 0.1$ 、 $75\text{原子\%} \leq c \leq 93\text{原子\%}$ 、 $0.5\text{原子\%} \leq x \leq 18\text{原子\%}$ 、 $4\text{原子\%} \leq y \leq 9\text{原子\%}$ 、 $d \leq 4.5\text{原子\%}$ である。

【請求項9】 請求項1または請求項2に記載の方位センサであって、前記軟磁性合金は、下記の組成で表されるものであることを特徴とする方位センサ。



但し、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素であり、Tは、Cu、Ag、Au、Pd、Ptのうちの1種または2種以上の元素であり、XはSi、Al、Ge、Gaのうちの1種または2種以上の元素であり、組成比を示すa、b、c、x、y、d、zは、 $0 \leq a+b \leq 0.1$ 、 $75\text{原子\%} \leq c \leq 93\text{原子\%}$ 、 $0.5\text{原子\%} \leq x \leq 18\text{原子\%}$ 、 $4\text{原子\%} \leq y \leq 9\text{原子\%}$ 、 $d \leq 4.5\text{原子\%}$ 、 $z \leq 4\text{原子\%}$ である。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、地磁気による磁力線の方位を検出する方位センサに関するものであり、特に、軟磁性合金からなる磁気インピーダンス効果素子を備えた方位センサに関するものである。

【0002】

【従来の技術】方位センサは、単独で地磁気等の外部磁界による磁力線の方位を測定できるので、車載用コンパス及びナビゲーションシステム等の自車位置の検出手段として広く用いられている。

【0003】上述の方位センサの中でも、フラックスゲートセンサーは、その動作原理上安定性に優れ、磁界の検出感度も $10^{-7}\sim 10^{-6}\text{G}$ 程度と高いので、広く用いられている。しかし、このフラックスゲートセンサーは、環状の磁心と、この磁心に巻回して磁場を印加する励磁巻線と、磁心の磁束密度を検出する検出巻線とからなる構造であるため、形状が塊状となり、小型化が困難な課題がある。

【0004】一方、別の方位センサとして、磁気抵抗素子（以下、MR素子と略す）を用いた方位センサは、2つのMR素子をそれぞれに印加される電流の電流路が互いに直交するように同一平面内に配置し、これら2つのMR素子をブリッジ等に接続することにより外部磁界による磁力線の方位を検出するもので、形状が平面状であり、小型化を図ることが可能である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来のMR素子を用いた方位センサは、外部磁界の強度の変化によるMR素子自身の固有抵抗に対する抵抗変化率が3~6%程度と小さく、抵抗変化が鋭敏ではないので、地磁気等の外部磁界による磁力線の精密な方位測定を行うことが困難であり、方位センサとして適当でないという課題があった。

【0006】本発明は上述の課題を解決するためになされたものであって、その形状を小型にすることが可能であり、かつ地磁気による磁力線の方位を精密に測定できる方位センサを提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明は以下の構成を採用した。本発明の方位センサは、外部磁界による磁力線の方位の検出手段として、Fe、Co、Niのうちの1種または2種以上の元素を含み、平均結晶粒径50nm以下の中細な結晶相と非晶質相とを主体し、交流電流を印加するときにインピーダンスが外部磁界に依存して変化する軟磁性合金からなる磁気インピーダンス効果素子を備えることを特徴とする。また、先に記載の磁気インピーダンス効果素子は、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素と、Bをさらに含む軟磁性合金であることを特徴とする。

【0008】本発明の方位センサは、先に記載の方位センサであって、前記外部磁界による磁力線のX軸方向の成分の検出手段である第1の磁気インピーダンス効果素子と、前記外部磁界による磁力線のY軸方向の成分の検出手段である第2の磁気インピーダンス効果素子とを備えることを特徴とする。また、本発明の方位センサは、先に記載の方位センサであって、前記第1、2の磁気インピーダンス効果素子は、それぞれに印加される交流電流の電流路が互いに直交するように同一平面内に配置されたことを特徴とする。また、本発明の方位センサは、先に記載の方位センサであって、前記第1、2の磁気インピーダンス効果素子には、それぞれに印加される交流電流の電流路に沿ってバイアス磁化を印加するための巻線が巻回されたことを特徴とする。

【0009】本発明の方位センサは、先に記載の方位センサであって、前記軟磁性金属ガラス合金は、下記の組成で表されるものであることを特徴とする。



但し、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素であり、組成比を示すa、b、c、x、yは、0≤a+b≤0.1、75原子%≤c≤93原子%、0.5原子%≤x≤18原子%、4原子%≤y≤9原子%である。また、本発明の方位センサは、先に記載の方位センサであって、前記軟磁性金属ガラス合金は、下記の組成で表さ

れるものであることを特徴とする。



但し、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素であり、XはSi、Al、Ge、Gaのうちの1種または2種以上の元素であり、組成比を示すa、b、c、x、y、zは、0≤a+b≤0.1、75原子%≤c≤93原子%、0.5原子%≤x≤18原子%、4原子%≤y≤9原子%、z≤4原子%である。

- 10 【0010】本発明の方位センサは、先に記載の方位センサであって、前記軟磁性金属ガラス合金は、下記の組成で表されるものであることを特徴とする。



但し、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素であり、Tは、Cu、Ag、Au、Pd、Ptのうちの1種または2種以上の元素であり、組成比を示すa、b、c、x、y、dは、0≤a+b≤0.1、75原子%≤c≤93原子%、0.5原子%≤x≤18原子%、4原子%≤y≤9原子%、d≤4.5原子である。また、本発明の方位センサは、先に記載の方位センサであって、前記軟磁性金属ガラス合金は、下記の組成で表されるものであることを特徴とする。



但し、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素であり、Tは、Cu、Ag、Au、Pd、Ptのうちの1種または2種以上の元素であり、XはSi、Al、Ge、Gaのうちの1種または2種以上の元素であり、組成比を示すa、b、c、x、y、d、zは、0≤a+b≤0.1、75原子%≤c≤93原子%、0.5原子%≤x≤18原子%、4原子%≤y≤9原子%、d≤4.5原子、z≤4原子%である。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図1において、方位センサ1には、外部磁界のX軸方向の成分の検出手段である第1の磁気インピーダンス効果素子（以下、M1素子と略す）2と、X軸方向に垂直なY軸方向の外部磁界の成分の検出手段である第2のM1素子3とが備えられている。磁気インピーダンス効果素子（M1素子）とは、磁気インピーダンス効果（Magneto-Impedance Effect）を有する素子である。磁気インピーダンス効果とは、ワイヤ状またはリボン状の磁性体に電源からMHz帯域の交流電流を印加し、この状態で磁性体の長手方向から外部磁界を印加すると、外部磁界が数ガウス程度の微弱磁界であっても、磁性体の両端に素材固有のインピーダンスによる電圧が発生し、その振幅が外部磁界の強度に対応して数十%の範囲で変化する、すなわちインピーダンス変化を

- 40 起こす現象をいう。
- 50

【0012】第1、2のM I 素子2、3は、平均結晶粒径50 nm以下の微細な結晶粒からなる結晶相と非晶質相とを主体とし、Fe、Co、Niのうちの1種または2種以上の元素と、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素と、Bとを含む軟磁性合金からなり、その形状は平面視略矩形である。また、この軟磁性合金は、交流電流を印加するときにインピーダンスが外部磁界に依存して変化する磁気インピーダンス効果を示す。第1、2のM I 素子2、3は、それぞれに印加される交流電流の電流路の方向が互いに直交するように平面4に配置されている。即ち、第1、2のM I 素子2、3は、それぞれの長手方向の向きが互いに直交するように配置されている。具体的には、第1、2のM I 素子2、3は、平面4に任意の手段によって固定されている。第1、2のM I 素子2、3の形状は、図1においては板状であるが、これに限られることはなく、棒材、薄帯(リボン)、ワイヤ材、線材、線材の複数本を纏り合わせたもの等であっても良い。

【0013】第1、2のM I 素子2、3には、第1、2のM I 素子2、3に印加される交流電流の電流路の方向に沿って、即ち、第1、2のM I 素子2、3の長手方向に沿ってバイアス磁化を印加するための巻線5、6が巻回されている。巻線5、6の両端は、巻線端子5a、6aを介して、外部巻線用導線5b、6bに接続されている。第1、2のM I 素子2、3の長手方向の両端2a、3aには、出力電流を取り出すための出力導線7、8、9が接続されている。導線7、9は、出力端子7a、9aを介して、出力用外部導線7b、9bに接続されている。また、導線8の両端は、第1のM I 素子2の端部2aと第2のM I 素子3の端部3aとに接続されている。また、導線8は、出力端子8aを介して、出力用外部導線8bに接続されている。更に、第1、2のM I 素子2、3のそれぞれの長手方向の両端2a、3aには、図示しない交流電流を印加するための導線が接続されている。

【0014】上述の方位センサ1の動作は次の通りである。図1において、第1、2のM I 素子2、3には、図示しない導線からMHz帯域の交流電流が印加されている。このとき、第1、2のM I 素子2、3のそれぞれの両端2a、3aには、それぞれの素子に固有のインピーダンスによる電圧が発生している。図1に示すように、外部磁界による磁力線の方向を任意とし、この磁力線が第1のM I 素子2に印加されると、第1のM I 素子2の両端に発生するインピーダンスは、この磁力線の第1のM I 素子2の長手方向に対して平行な成分(X軸方向の成分)の大きさに対応したものとなる。同様に、この磁力線が第2のM I 素子3に印加されると、第2のM I 素子3の両端に発生するインピーダンスは、この磁力線の第2のM I 素子3の長手方向に対して平行な成分(Y軸

方向の成分)の大きさに対応したものとなる。即ち、第1、2のM I 素子2、3に対して、外部磁界による磁力線の方向が変化すると、これに対応して第1、2のM I 素子2、3のインピーダンスが変化し、第1、2のM I 素子2、3から出力される電圧値が変化することになる。このようにして、方位センサ1においては、出力端子7a、8aから、地磁気のX軸方向の成分の大きさに対応した電圧値を示す出力電流が取り出され、出力端子9a、8aから、地磁気のY軸方向の成分の大きさに対応した電圧値を示す出力電流が取り出される。これらの出力電流は、外部出力導線7b、8b、9bを介して図示しない処理部に送られる。処理部では、得られた出力電流に基づいて地磁気による磁力線の方位が測定される。

【0015】従来のMR素子の磁気検出感度が0.1 Oe程度であるのに対し、磁気インピーダンス効果を有する素子(M I 素子)は、 10^{-5} Oe程度の磁気を検出することが可能である。特に、本発明の第1、2のM I 素子2、3に、コルピッツ発振回路などの自己発振回路等を接続して数~数十MHzの交流電流を印加した場合には、分解能が約 10^{-6} Oeの高感度で外部磁界を安定に検出できるので、微弱な外部磁界の検出が可能になる。従って、第1、2のM I 素子2、3の形状を長手方向の長さを短くしてM I 素子固有のインピーダンスを小さくするような形状とした場合においても、良好な磁気検出感度が得られるので、方位センサ1の小型化を図ることが可能となる。

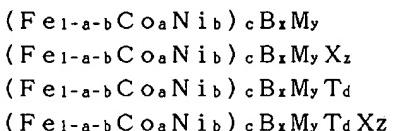
【0016】また、上述したように、本発明の方位センサ1には、第1、2のM I 素子2、3にバイアス磁化を印加するための巻線5、6が備えられている。本発明に係る第1、2のM I 素子2、3は、図2Aに示すように、外部磁界ゼロを中心とする外部磁界の絶対値に依存して正負方向にほぼ対称的に出力電圧の変化(インピーダンス変化)を示す。第1、2のM I 素子2、3にバイアス磁化を印加しない場合には、図2Bに示すように、外部磁界による磁力線の方向を第1のM I 素子2の長手方向に対して0~90°に変化させると、第1のM I 素子2からの出力電圧が低下する。また、外部磁界による磁力線の方向を90~180°に変化させると、第1のM I 素子2からの出力電圧が上昇する。このとき、0°と180°における出力電圧の電圧値は同一となり、磁力線の方向を正確に測定することができない。第1、2のM I 素子2、3にバイアス磁化を印加した場合には、図2Cに示すように、外部磁界に対するインピーダンスが直線的に変化する領域を使用することになり、外部磁界による磁力線の方向を0~180°に変化した場合でも、M I 素子からの出力電圧の変化が線形的であり、外部磁界の方向を正確に測定できる。

【0017】第1、2のM I 素子2、3に印加するバイアス磁化の大きさは、絶対値で0.1~2 Oeの範囲

であることが好ましい。バイアス磁化の大きさが、0.1 Oe以下若しくは2 Oe以上の範囲では、外部磁界に対するインピーダンス変化が線形変化でないので好ましくない。従って、バイアス磁化を印加するための巻線5、6に印加するバイアス電流は、数mAの直流電流で十分である。

【0018】第1、2のMI素子2、3を構成する軟磁性合金は、前述のように、平均結晶粒径50 nm以下の微細な結晶粒からなる結晶相と非晶質相とを主体とし、Fe、Co、Niのうちの1種または2種以上の元素と、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素と、Bとを含むものである。

【0019】特に、下記の各組成式で示される軟磁性合金が好適である。



但し、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素であり、Tは、Cu、Ag、Au、Pd、Ptのうちの1種または2種以上の元素であり、XはSi、Al、Ge、Gaのうちの1種または2種以上の元素であり、組成比を示すa、b、c、x、y、d、zは、0 ≤ a+b ≤ 0.1、75原子% ≤ c ≤ 93原子%、0.5原子% ≤ x ≤ 18原子%、4原子% ≤ y ≤ 9原子%、d ≤ 4.5原子%、z ≤ 4原子%である。

【0020】これらの組成の軟磁性合金は、平均結晶粒径50 nm以下の体心立方構造の微細な結晶粒からなる結晶質相と非晶質相とを主体としてなるので、磁歪が少なく、高い飽和磁束密度と優れた透磁率を示すと共に、高い磁気インピーダンス効果を示し、第1、2のMI素子2、3として好適である。

【0021】本発明の組成系において、主成分であるFeとCoとNiは、磁性を担う元素であり、高い飽和磁束密度と優れた軟磁気特性を得るために重要である。

【0022】これらの組成の軟磁性合金においては、FeとCoとNiの添加量の合計を示すcの値は、93原子%以下である。cが93原子%を超えると液体急冷法によって非晶質単相を得ることが困難になり、この結果、熱処理してから得られる合金の組織が不均一になって高い透磁率が得られず、高い磁気インピーダンス効果が得られないで好ましくない。また、cが75原子%未満では、飽和磁束密度(Bs) 10 kG以上を得ることができず、MI素子14が検出する磁場のダイナミックレンジが小さくなってしまうので好ましくない。従って、cの範囲を75原子% ≤ c ≤ 93原子%とした。また、Feの一部は、磁歪等の調整のためにCoもしくはNiで置換してもよく、この場合、好ましくはFeの1

0%、さらに好ましくは5%以下とするのがよい。この範囲外であると透磁率が劣化する。従って前記組成式においてCoとNiの組成比a、bは、0 ≤ a+b ≤ 0.1の範囲が好ましく、0 ≤ a+b ≤ 0.05の範囲がより好ましい。

【0023】Bには、軟磁性合金の非晶質形成能を高める効果、結晶組織の粗大化を防ぐ効果、および熱処理工程において磁気特性に悪影響を及ぼす化合物相の生成を抑制する効果があると考えられる。

【0024】また、Zr、Hf、Nbは、α-Feに対してほとんど固溶しないとされるが、合金を急冷して非晶質化することで、ZrとHfまたはNbを過飽和に固溶させ、この後に施す熱処理によりこれら元素の固溶量を調節して一部結晶化し、微細結晶相として析出させることで、得られる軟磁性合金の軟磁気特性を向上させ、合金薄帯の磁歪を小さくする作用がある。また、微細結晶相を析出させ、その微細結晶相の結晶粒の粗大化を抑制するには、結晶粒成長の障害となり得る非晶質相を粒界に残存させることが必要であると考えられる。さら

に、この粒界非晶質相は、熱処理温度の上昇によってα-Feから排出されるZr、Hf、Nb等のM元素を固溶することで軟磁気特性を劣化させるFe-M系化合物の生成を抑制すると考えられる。よって、Fe-Zr(Hf、Nb)系の合金にBを添加することが重要となる。

【0025】Bの添加量を示すxが、0.5原子%未満では、粒界の非晶質相が不安定となるため、十分な添加効果が得られない。また、xが18原子%を越えると、B-M系およびFe-B系において、ホウ化物の生成傾向が強くなり、微細結晶組織を得るために熱処理条件が制約され、良好な軟磁気特性が得られなくなる。このようにBの添加量を適切にすることで、析出する微細結晶相の平均結晶粒径を50 nm以下に調整することができる。

【0026】また、非晶質相を得やすくするためにには、非晶質形成能の特に高いZr、Hf、Nbのいずれかを含むことが好ましく、Zr、Hf、Nbの一部は他の4A~6A族元素のうち、Ti、V、Ta、Cr、Mo、Wのいずれかと置換することができる。また、Zr、Hf、Nbのうち、Hfは非常に高価な元素であるため、原料コストを考慮すると、Zr、Nbのいずれかを含むことがより好ましい。こうした元素Mは、比較的遅い拡散種であり、元素Mの添加は、微細結晶核の成長速度を小さくする効果、非晶質形成能を持つと考えられ、組織の微細化に有効である。

【0027】元素Mの添加量を示すyが4原子%未満では、核成長速度を小さくする効果が失われ、結晶粒径が粗大化して良好な軟磁性が得られない。Fe-Hf-B系合金の場合、Hf = 5原子%での平均結晶粒径は13 nmであるのに対してHf = 3原子%では39 nmと粗大

化する。元素Mの添加量を示すyが9原子%を越えると、M-B系またはFe-M系の化合物の生成傾向が大きくなり、良好な特性が得られない他、液体急冷後の薄帯状合金が脆化し、所定のMI素子の形状に加工することが困難となる。

【0028】中でもNb、Cr、Mo、Wは、酸化物の生成自由エネルギーの絶対値が小さく、熱的に安定であり、酸化物を生成しにくい。よって、これらの元素を添加して軟磁性合金を製造する場合には、製造時の雰囲気全体を不活性ガス雰囲気ではなく大気中の雰囲気で、もしくは溶湯を急冷する際に使用するるつばのノズルの先端部に不活性ガスを供給しつつ大気中で製造することができるので、製造条件が容易となり、MI素子を安価に製造することができる。

【0029】また、Si、Al、Ge、Gaのうちの1種または2種以上の元素Xを、4原子%以下含有することが好ましい。これらは半金属元素として知られており、Feを主成分とする体心立方晶の相に固溶する。これらの元素の含有量が4原子%を越えると磁歪が大きくなるか、飽和磁束密度が低下するか、透磁率が低下するので好ましくない。

【0030】また、元素Xには、軟磁性合金の電気抵抗を上昇させ、鉄損を低下させる効果があるが、Alはその効果が大きい。またGe、Gaは結晶粒の径を微細化させる効果がある。従ってSi、Al、Ge、Gaのうち、Al、Ge、Gaは添加した効果が特に大きく、Al、Ge、Gaの単独添加もしくはAlとGe、AlとGa、GeとGa、AlとGeの複合添加とすることがより好ましい。

【0031】更に、Cu、Ag、Au、Pd、Ptの1種または2種以上の元素Tを4.5原子%以下含有させると、軟磁気特性が改善される。Cu等のように、Feと固溶しない元素を微量添加することにより、組成が揺らぎ、Cuが結晶化の初期段階にクラスターを形成し、相対的にFeリッチな領域が生じ、 α -Feの核生成頻度を増加させることができる。また、結晶化温度を示差熱分析法により測定したところ、上記Cu、Ag等の元素の添加は結晶化温度をやや低めるようである。これは、これらの添加により非晶質中に組成揺らぎが導入され、その結果、非晶質の安定性が低下したことに起因すると考えられる。組成揺らぎを伴った非晶質相が結晶化する場合、部分的に結晶化しやすい領域が多数でき均一核生成するため、得られる組成が微細結晶粒組織となると考えられる。以上の観点からこれらの元素以外の元素でも結晶化温度を低下させる元素には、同様の効果が期待できる。

【0032】尚、これらの元素以外でも耐食性を改善するために、Ru、Rh、Pd、Os、Ir、Ptなどの白金族元素を添加することも可能である。これらの元素は、5原子%よりも多く添加すると、飽和磁束密度の劣

化が著しくなるため、添加量は5原子%以下とする必要がある。

【0033】また、他に、必要に応じてY、La、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Zn、Cd、In、Sn、Pb、As、Sb、Bi、Se、Te、Li、Be、Mg、Ca、Sr、Ba等の元素を添加することで軟磁性合金の磁歪を調整することもできる。

【0034】その他、上記組成系の軟磁性合金において、H、N、O、S等の不可避の不純物については所望の特性が劣化しない程度に含有していても本発明で用いる軟磁性合金の組成と同一とみなすことができるのは勿論である。

【0035】上述の第1、2のMI素子2、3は、例えば、前記の組成になるように原料を混合した合金をアーチ溶解、高周波誘導溶解等の手段で溶解してから急冷し、非晶質を主体とするものを得た後で、この非晶質合金に対して組織の一部あるいは大部分を結晶化するための熱処理を施して線材あるいは薄帯として得ができる。この範囲の温度で熱処理がなされることで非晶質相の中の一部が結晶化し、非晶質相と平均結晶粒径50nm以下の微細な結晶粒とが混合した組織が得られ、第1、2のMI素子2、3が得られる。

【0036】熱処理により平均結晶粒径50nm以下の微細結晶組織が析出したのは、急冷状態の非晶質合金薄帯等が非晶質を主体とする組織となっており、これを加熱すると、ある温度以上で平均結晶粒径が50nm以下の、Feを主成分とする体心立方構造の結晶粒からなる微細結晶相が析出するからである。この体心立方構造を

有するFeの微細結晶相が析出する温度は、合金の組成によるが480~550°C程度である。またこのFeの微細結晶相が析出する温度よりも高い温度では、Fe₃B、あるいは合金にZrが含まれる場合にはFe₃Zr等の軟磁気特性を悪化させる化合物相が析出する。このような化合物相が析出する温度は、合金の組成によるが740~810°C程度である。したがって、本発明において、非晶質合金薄帯等を熱処理する際の保持温度は480°C~810°Cの範囲で、体心立方構造を有するFeを主成分とする微細結晶相が好ましく析出しかつ上記化合物相が析出しないように、合金の組成に応じて好ましく設定される。

【0037】上記の熱処理温度まで昇温するときの昇温速度は、20~200°C/分の範囲が好ましく、40~200°C/分の範囲とするのがより好ましい。昇温速度が遅いと製造時間が長くなるので昇温速度は速い方が好ましいが、加熱装置の性能上、200°C/分程度が上限とされる。

【0038】また、非晶質合金薄帯等を上記保持温度に保持する時間は、0~60分間とすることでき、合金の組成によっては0分、すなわち昇温後直ちに降温させ

11

て保持時間無しとしても、高い磁気インピーダンス効果を得ることができる。また、保持時間は60分より長くしても磁気特性は向上せず、製造時間が長くなり生産性が悪くなるので好ましくない。また、特にCuおよびSi、特にSiを含まない組成の場合には、10分以下の保持時間で優れたMI素子を得ることができる。これは、Siを添加した場合には、FeにSiを充分に固溶させる必要があり、保持時間を長くする必要があるからである。

【0039】特に、本発明の合金組成物を用いてMI素子の線材を製造するには、例えば特開平4-323351号公報に記載されているような流体冷却法や、単ロールを用いた急冷法を利用することができる。流体冷却法は基本的には、前記の合金組成物を溶融し、溶融物を冷却液層中に連続的に噴出して線状に冷却固化させる方法である。更に具体的には、冷却液層を噴流とする方法(噴流法)と遠心力で保持する方法(遠心法)と、実施例で示す溶液引き出し紡糸法とがある。

【0040】このうち噴流法は、概略を図3に示すように、先ず冷却液受槽35中の冷却液を冷却液加圧ポンプ36により加圧し、冷却器37により所定の温度に冷却した後、液体加圧タンク30により所定の圧力に加圧する。次に、加圧された冷却液を、冷却液体噴出ノズル31により所定の速度で噴出させて噴流38を形成し、この噴流38は冷却液受槽35に循環させる。一方、前述した合金組成物42は、加熱炉41で溶融し、溶融合金噴出装置32に送り、アルゴンガス圧によりこの溶融合金噴出装置32から噴出させる。噴出した溶融合金流39は、前述の冷却液体噴出ノズル31から噴出された冷却液の噴流38によって急速に冷却固化され、MI素子線材33となる。得られたMI素子線材33は、巻き取り機34によって巻き取られる。

【0041】遠心法は、図4に示すように、原料の合金組成物をルツボ54の送入口51からアルゴンガスにより送入し、これを加熱炉45で加熱溶融する。この間、図示しない駆動モーターにより回転ドラム46を所定の回転速度に回転しておく。次いで冷却液を冷却液供給管50から回転ドラム46の内側に供給し、遠心力により冷却液層48を形成する。次にルツボ54の先端ノズル52を下降して冷却液層48の液面に接近させると共にルツボ54内を加圧し、溶融合金44を冷却液層48の液面に向かって噴出させる。ルツボ54の内部には、原料の酸化を防ぐため、絶えず不活性ガスを送入し、不活性雰囲気に保つ。冷却液層48の液面に向かって噴出された合金は冷却固化されMI素子線材53となり、噴出方向と回転ドラム46の回転方向および遠心力の合力により冷却液層48の中を進み、回転ドラム46の内壁に沿って順次巻き重ねられる。紡糸終了後に管50の先端を冷却液層48中に挿入し、冷却液を吸引排出する。その後、回転ドラム46を停止し、回転ドラム4

12

6の内壁に集積したMI素子線材53を取り出す。

【0042】また、単ロールを用いた急冷法は、図5に示すように、回転している鋼製あるいは銅製などの金属ロール60上に置かれたノズル61より溶融金属62をアルゴンガスなどの不活性ガスの圧力を適宜加えて金属ロール60上に噴出させて急冷して薄帯63を得ることができる。薄帯63は、MI素子の設計仕様により所望の幅に切断して使用しても良い。

【0043】上述の方位センサ1に備えられた軟磁性合金からなる第1、2の磁気インピーダンス効果素子(MI素子)2、3は、平均結晶粒径50nm以下の体心立方構造の微細な結晶粒からなる結晶相と非晶質相を主体としてなり、磁歪が少なく、高い飽和磁束密度と優れた透磁率を示すと共に、高い磁気インピーダンス効果を示し、方位センサ1の感度を高くなるので、地磁気のような微弱な外部磁界を検出することができる。また、上述の第1、2のMI素子2、3を構成する軟磁性合金は、Fe、Co、Niのうちの1種または2種以上の元素と、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素と、Bとを含むものであり、加工性に優れ、薄帯状、薄膜状または線材状のMI素子を容易に得るので、方位センサ1の製造コストを低くすることができる。特に、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素を含むので、組織中に非晶質相を容易に形成させることができる。更に、上述の第1、2のMI素子2、3は、外部磁界の検出感度が高いので、第1、2のMI素子2、3の大きさを小さくすることが可能となり、方位センサ1の形状を小型化できる。

【0044】上述の方位センサ1は、外部磁界のX軸方向の成分の検出手段である第1のMI素子2と、Y軸方向の外部磁界の成分の検出手段である第2のMI素子3とを備え、第1、2のMI素子2、3は、それぞれに印加される交流電流の電流路が互いに直交するように同一平面4内に配置され、第1、2のMI素子2、3に印加される交流電流の電流路に沿ってバイアス磁化を印加する巻線5、6が巻回されたものであるので、地磁気による磁力線の方位を正確に測定できる。

【0045】また、上述の第1、2のMI素子2、3は、外部磁界が-2Oe～+2Oe程度の微弱磁界の範囲において、出力電圧の値の変化が穏やかであると共に出力電圧の値の変化が線形的で定量性が良好であるので、方位センサ1の外部磁界による磁力線の方位測定の精度をより高くすることができる。また、外部磁界の方位を測定するための出力電圧を処理する回路構成が比較的簡単になり、方位センサ1の製造コストを下げることができる。更に、第1、2のMI素子2、3に印加するバイアス磁化は最大でも2Oe程度と小さくて済むので、バイアス磁化を印加するための回路構成を簡単にす

13

ことができる。

【0046】

【実施例】以下に本発明の実施例を示すが、本発明がこれら実施例に限定されないのは勿論である。

(M I 素子の製造) 以下の表1の組成となるように原料を秤量混合し、減圧Ar雰囲気下にアーク溶解炉を用いて溶融し、組成物のインゴットを製造した。このインゴット

「表1」

試料No.	組成	Bs (T)	μ' (1 kHz)	
) 1	Fe ₈₄ Zr _{3.5} Nb _{3.5} B ₈ Cu ₁	1.53	10000	
0 2	Fe ₈₄ Zr _{3.5} Nb _{3.5} B ₈ Cu ₁	1.53	10000	
0				
3	Fe _{85.6} Zr _{3.3} Nb _{3.3} B _{6.6} Cu ₁	1.57	150000	
4	Fe _{85.6} Zr _{3.3} Nb _{3.3} B _{6.6} Cu ₁	1.57	150000	
5	Fe ₈₄ Nb ₇ B ₉	1.52	40000	
6	Fe ₈₄ Nb ₇ B ₉	1.52	40000	
7	Fe ₈₄ Nb ₇ B ₉	1.52	40000	
8	Fe ₈₄ Nb ₇ B ₉	1.52	40000	
9	Fe ₉₀ Nb ₇ B ₃	1.70	30000	
10	Fe ₉₀ Nb ₇ B ₃	1.70	30000	
11	(Fe _{0.985} Co _{0.015}) ₉₀ Nb ₇ B ₃	1.70	30000	
12	(Fe _{0.985} Co _{0.015}) ₉₀ Nb ₇ B ₃	1.70	30000	
13	Fe _{73.5} Si _{13.5} B ₉ Nb ₃ Cu ₁	1.20	100000	
14	Fe _{73.5} Si _{13.5} B ₉ Nb ₃ Cu ₁	1.20	100000	
磁歪 薄帯幅 昇温速度 温度 保持時間				
試料No.	$\lambda s (\times 10^{-6})$	(°C/分)	(°C)	(分)
1	0.3	1mm	40	680 0
2	0.3	0.3mm	40	680 0
3	-0.3	1mm	40	680 0
4	-0.3	0.3mm	40	680 0
5	0.3	1mm	180	650 5
6	0.3	0.3mm	180	650 5
7	0.0	1mm	180	750 1
8	0.0	0.3mm	180	750 1
9	-1.0	1mm	180	600 5
10	-1.0	0.3mm	180	600 5
11	0.0	1mm	180	650 5
12	0.0	0.3mm	180	650 5
13	2.0	1mm	40	550 60
14	2.0	0.3mm	40	550 60

【0048】(M I 効果の測定) 実施例のM I 素子を図6に示す磁界検知回路に挿入し、400 kHzの交流電流を印加した状態で、試料の長さ方向に外部磁界Hexを印加し、外部磁界Hex (Oe) と発生した出力電圧 (mV) との関係をプロットした。外部磁界Hexは、0 Oeからスタートし、5 Oe、0 Oe、-5 Oe、0 Oeと連続的に往復変化させた。增幅倍率は10倍に設定した。測定結果を図7～図13に示す。

【0049】図6に示す磁界検知回路は、ブロックA、BおよびCからなり、それぞれ、高周波電源部、外部磁

* ットをルツボ内に入れて高周波誘導加熱により溶融し、減圧Ar雰囲気下で回転している銅製の冷却ロール（単ロール）上に溶湯を噴出させ急冷して薄帯を得た。この薄帯を、長さ31mmに切り出して実施例のM I 素子とした。

【0047】

※界 (Hex) 検知部および増幅出力部である。M I 素子 (Mi) は外部磁界検知部 (B) に挿入されている。高周波電源部 (A) は、高周波交流電流を発生し外部磁界検知部 (B) に供給するための回路であってその方式は特に限定されない。ここでは一例として、安定化コルピッタ発振回路を採用したものを掲げる。自己発振方式ではこの他に磁気変調を利用した振幅変調 (AM)、周波数変調 (FM)、または位相変調 (PM) をかけて磁界感知作動をさせることもできる。外部磁界検知部 (B) はM I 素子 (Mi) と復調回路とからなり、高周波電源

15

部(A)から供給された高周波交流電流により待機状態とされたMI素子が外部磁界(Hex)に感応して発生したインピーダンス変化を、復調回路により復調し、増幅出力部(C)に伝送する。増幅出力部(C)は差動増幅回路と出力端子とを有する。この出力端子からMI素子からの出力電圧(mV)を得る。

【0050】図7～図13より、実施例のMI素子は、 $-2\text{ Oe} \sim +2\text{ Oe}$ 程度の微弱磁界帯域において高感度で良好な定量性を示し、特に、No. 5～8、13、14の試料においては、ヒステリシスも僅少であることから、優れたMI素子であることがわかる。特に、リボン幅が約1mmの試料に比べてリボン幅が0.3mmの試料が良好な応答性を有している。これは、薄帯幅が少ない方が線材に近い試料形状をなしているためである。また、いずれの試料においてもSiを含まない系(FeZrNbBCu系、FeNbB系、FeZrB系、FeCoZrB系)においては飽和磁束密度が $1.5 \sim 1.7\text{ T}$ の優れた値を示し、 $30000 \sim 100000$ の優れた透磁率を示し、磁歪も小さい特性を有している。これに対してSiを含む系(FeSiBNbCu系)においても飽和磁束密度は若干低いものの、 100000 の透磁率が得られた。更に、Siを含まない系においては熱処理条件として保持時間を $0 \sim 5\text{ 分}$ と少なくても良好な軟磁気特性が得られるが、Siを含む系においては保持時間が 60 分 程度で良好な軟磁気特性が得られた。

【0051】このようにして、飽和磁束密度が大きく、更に透磁率が高いという軟磁気特性に優れた軟磁性合金を得ることが可能となり、この軟磁性合金からなるMI素子を用いて方位センサを作製した場合には、微弱な地磁気の検出が可能となり、方位測定の精度をより高くできると予想される。

【0052】また、このような軟磁性合金からなるMI素子を方位センサに使用した場合には、外部磁界に対応する出力電圧の値が大きく、外部磁界の検出感度が高いために微弱な地磁気を検出できると共に、出力電圧を処理して外部磁界の方位を測定するための回路構成を簡単にできる。また、バイアス磁化は、絶対値で 2 Oe 程度の磁化をかけなければよいので、バイアス磁化を印加するための回路構成も簡単にできる。

【0053】また、図14において、試料No. 5のMI素子は、従来の $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{19}\text{B}_{13}$ の組成のMI素子よりも出力電圧の電圧値が高く、外部磁界の検出感度が高いことがわかる。更に、試料No. 5のMI素子は、微弱磁界の範囲内($-2\text{ Oe} \sim +2\text{ Oe}$)で従来の($\text{Fe}_{0.06}\text{Co}_{0.94}$) $_{72.5}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ の組成のMI素子よりも出力電圧の立ち上がりが緩やかであるので、定量性が良好となり、これを用いた方位センサの回路構成が容易となる。

【0054】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明の

16

方位センサは、Fe、Co、Niのうちの1種または2種以上の元素を含み、平均結晶粒径 50 nm 以下の体心立方構造の微細な結晶粒からなる結晶相と非晶質相を主体とする軟磁性合金からなる磁気インピーダンス効果素子(MI素子)を備えており、このMI素子は、磁歪が少なく、高い飽和磁束密度と優れた透磁率を示すと共に、高い磁気インピーダンス効果を示すので、方位センサの感度が高くなり、地磁気のような微弱な外部磁界を検出することができる。また、本発明に係るMI素子を構成する軟磁性合金は、Fe、Co、Niのうちの1種または2種以上の元素と、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wのうちの1種または2種以上の元素と、Bとを含むものであり、加工性に優れ、薄帯状、薄膜状または線材状のMI素子を容易に得ることができるので、方位センサの製造コストを低くすることができる。更に、本発明に係るMI素子は、外部磁界の検出感度が高いので、MI素子の大きさを小さくすることが可能となり、方位センサの形状を小型化できる。

【0055】また、本発明の方位センサは、外部磁界のX軸方向の成分の検出手段である第1のMI素子と、Y軸方向の外部磁界の成分の検出手段である第2のMI素子とを備え、第1、2のMI素子は、それぞれに印加される交流電流の電流路が互いに直交するように同一平面内に配置され、MI素子に印加される交流電流の電流路に沿ってバイアス磁化を印加する巻線が巻回されたものでありバイアス磁化を印加できるので、地磁気のような外部磁界による磁力線の方位を正確に測定できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態である方位センサを示す平面図である。

【図2】 本発明の実施の形態であるMI素子の外部磁界と出力電圧との関係を示す図であって、AはMI素子の外部磁化と出力電圧との関係を示すグラフであり、Bは外部磁界的磁力線の方向をMI素子の長手方向に対して $0 \sim 180^\circ$ の範囲で変化させたときの外部磁界と出力電圧との関係を示すグラフであり、CはMI素子のバイアス磁化をかけてBと同様に外部磁界的磁力線の方向を変化させたときの外部磁界と出力電圧との関係を示すグラフである。

【図3】 本発明の方位センサのMI素子の一製造法を示す工程図である。

【図4】 本発明の方位センサのMI素子の他の一製造法を示す工程図である。

【図5】 本発明の方位センサのMI素子の他の一製造法を示す工程図である。

【図6】 本発明のMI素子を用いた磁気検知回路を示す回路図である。

【図7】 実施例で得られたNo. 1、2の試料の磁界感応性を示す図である。

【図8】 実施例で得られたNo. 3、4の試料の磁界

感応性を示す図である。

【図9】 実施例で得られたNo.5、6の試料の磁界感応性を示す図である。

【図10】 実施例で得られたNo.7、8の試料の磁界感応性を示す図である。

【図11】 実施例で得られたNo.9、10の試料の磁界感応性を示す図である。

【図12】 実施例で得られたNo.11、12の試料の磁界感応性を示す図である。

【図13】 実施例で得られたNo.13、14の試料の磁界感応性を示す図である。

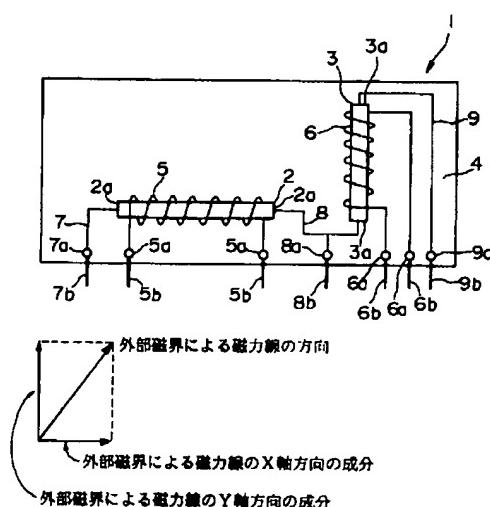
【図14】 試料No.5のMI素子及び従来のMI素

子の磁界感応性を示す図である。

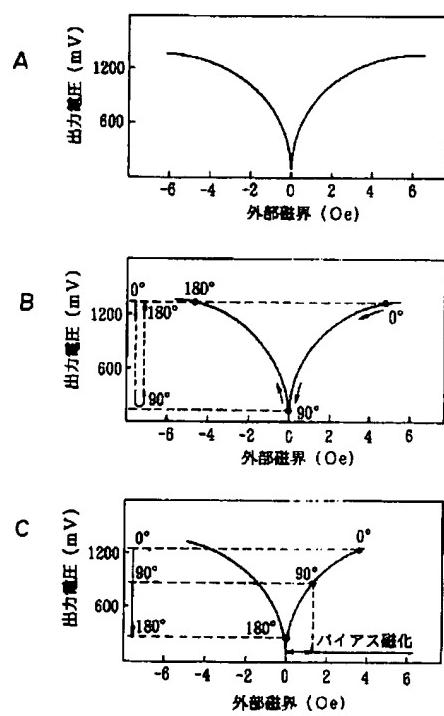
【符号の説明】

- 1 方位センサ
- 2 第1のMI素子
- 3 第2のMI素子
- 4 平面
- 5 バイアス磁化を印加するための巻線
- 6 バイアス磁化を印加するための巻線
- 7 出力導線
- 8 出力導線
- 9 出力導線

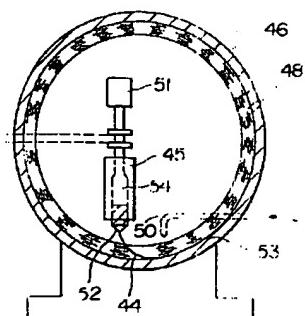
【図1】



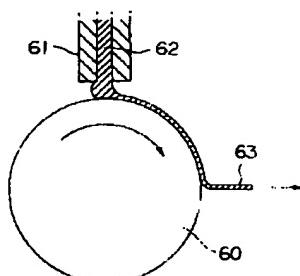
【図2】



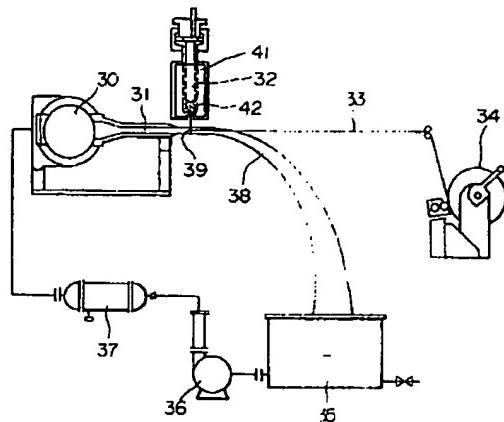
【図4】



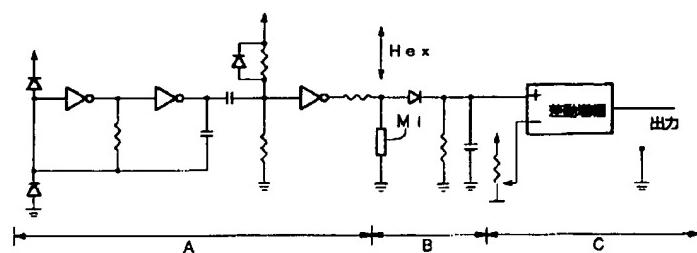
【図5】



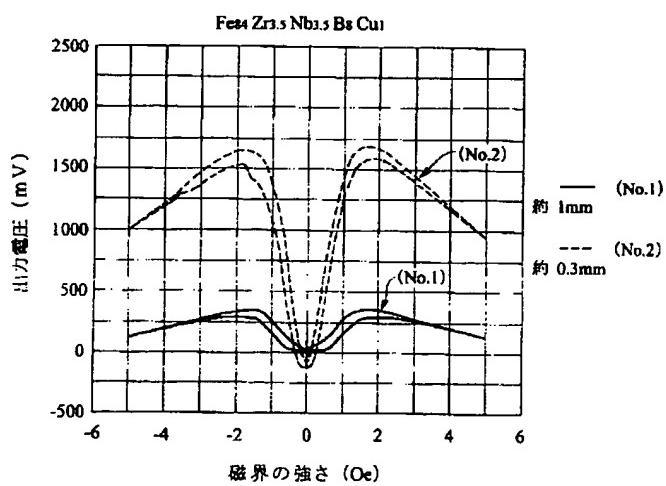
【図3】



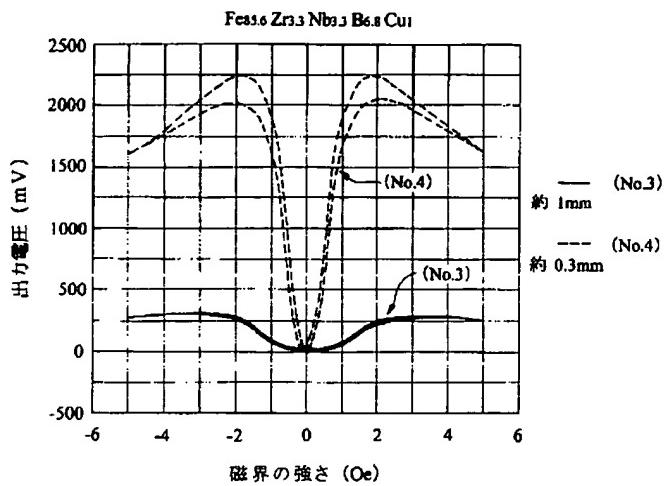
【図6】



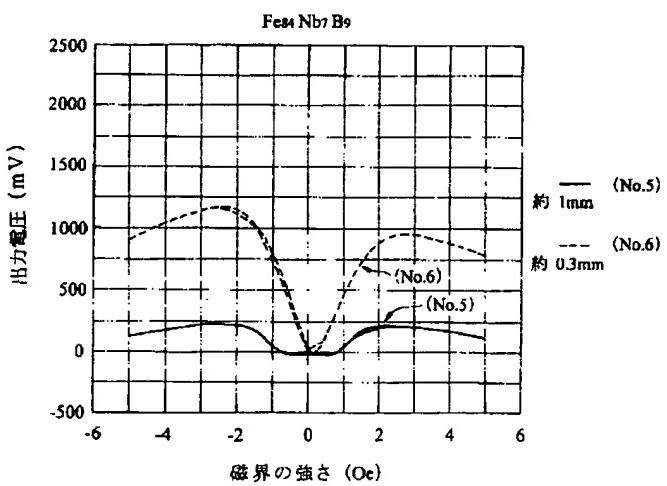
【図7】



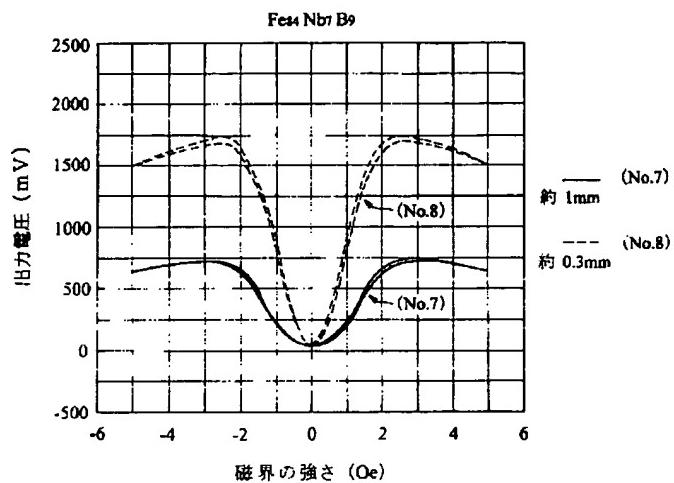
【図8】



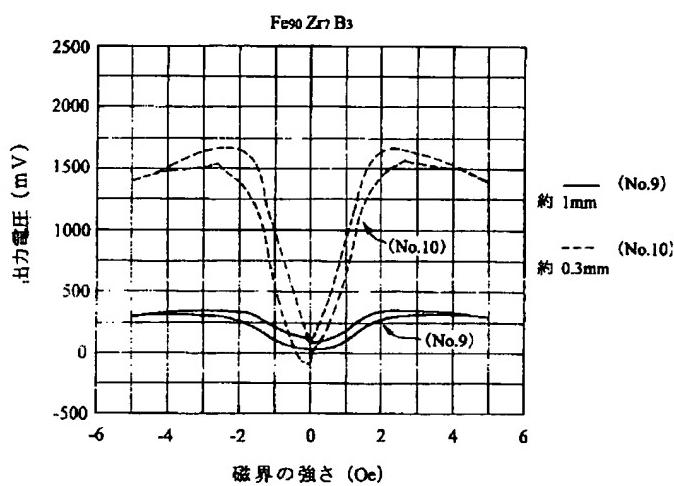
【図9】



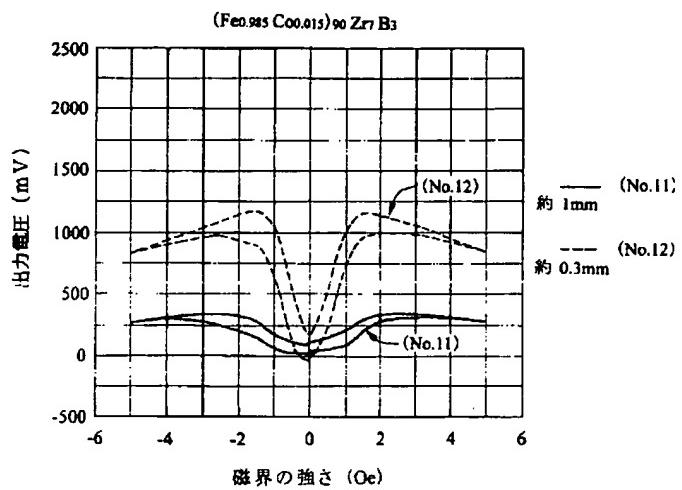
【図10】



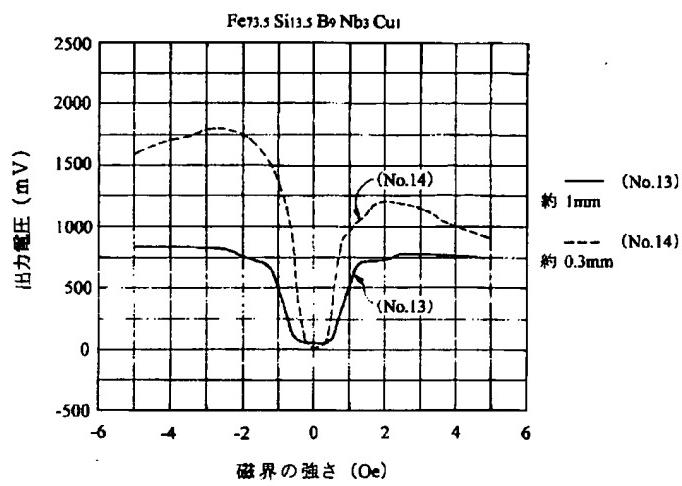
【図11】



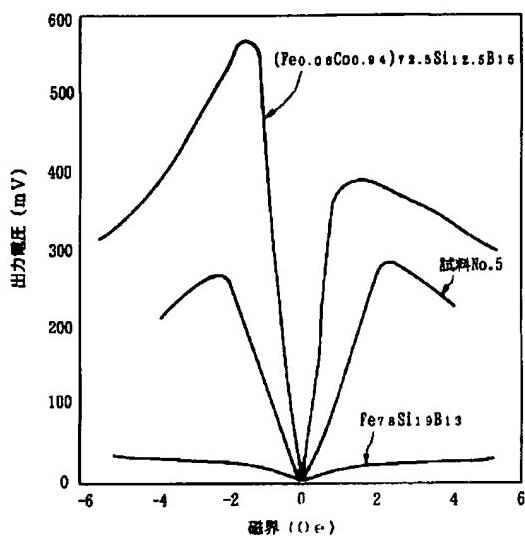
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

- | | |
|--|--|
| (72)発明者 内藤 豊
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内 | (72)発明者 大内 純一
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内 |
| (72)発明者 尾藤 輝夫
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内 | (72)発明者 笹川 新一
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内 |
| (72)発明者 畑内 隆史
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内 | (72)発明者 井上 明久
宮城県仙台市青葉区川内元支倉35番地 川内住宅11-806 |
| (72)発明者 牧野 彰宏
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内 | (72)発明者 増本 健
宮城県仙台市青葉区上杉3丁目8番22号 |